

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 01234389 A
TITLE: DEVICE AND METHOD OF MOLECULAR RAY EPITAXY

DID:
JP 01234389 A

TTL:
DEVICE AND METHOD OF MOLECULAR RAY EPITAXY

FPAR:

PURPOSE: To easily form a mixed crystal film having a steep compsn. change with excellent controllability and reproducibility by irradiating the molecular rays from plural pieces of molecular ray sources at a desired incident angle via an incident angle varying means onto a substrate for crystal growth of a molecular ray epitaxy device.

FPAR:

CONSTITUTION: The molecular ray epitaxy device is so constituted that the substrate 1 for crystal growth of the device can be rotated to an arbitrary value of the incident angle of the molecular rays from plural pieces of the molecular ray sources 2, 3 to the normal of the substrate 1 by the incident angle varying means having the rotating function capable of moving the substrate 1 around a revolving shaft 6 in the normal direction of the substrate

1. The molecular ray source 2 consisting of, for example, a solid Ga source and the molecular ray source 3 consisting of a solid Al source are disposed to the rotatable substrate 1 in 90° relative positions and further, a solid As source is disposed between the two molecular ray sources 2 and 3. The respective solid sources are heated to, for example, 950, 1300°C, 320°C respectively to generate the molecular rays. The substrate 1 is irradiated by the molecular rays and the incident angle θ ; to the substrate is changed in the prescribed ways, by which the mixed crystal film having

the desired
compsn. change is grown on the substrate 1.

⑨ 日本国特許庁(JP)

⑩ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A)

平1-234389

⑬ Int. Cl.⁴

C 30 B 23/08
H 01 L 21/203

識別記号

庁内整理番号

M-8518-4G
7630-5F

⑭ 公開 平成1年(1989)9月19日

審査請求 未請求 請求項の数 10 (全5頁)

⑮ 発明の名称 分子線エビタキシ装置および方法

⑯ 特 願 昭63-58262

⑰ 出 願 昭63(1988)3月14日

Hiroshi NAKAMURA

Kazuhiko ITO

Hiroshi MATSUDA

⑱ 発 明 者 中 村 均

神奈川県津久井郡城山町若葉台7-12-18 Kaoru FUKUZAWA

⑱ 発 明 者 伊 藤 和 弘

東京都西多摩郡日の出町平井2196-265

⑱ 発 明 者 松 田 広 志

東京都八王子市暁町1-47-3 日立大和田アパートF
403

⑱ 発 明 者 福 沢 董

東京都世田谷区経堂3-23-2

⑲ 出 願 人 光技術研究開発株式会
社

東京都港区浜松町2丁目4番1号 世界貿易センタービル
7階

⑳ 代 理 人 弁理士 中村 純之助

明 細 書

1. 発明の名称

分子線エビタキシ装置および方法

2. 特許請求の範囲

1. 結晶成長用基板と、該基板上に結晶成長させるための分子線を供給する複数の分子線源と、該基板の結晶成長面の法線方向と上記分子線源から入射する分子線とのなす角度を任意の値とすることの可能な入射角度可変手段とを有することを特徴とする分子線エビタキシ装置。

2. 特許請求の範囲第1項に記載の分子線エビタキシ装置において、固定した複数の分子線源と、結晶成長用基板の法線方向を移動せしめる基板回転機構とを有し、かつ、上記基板法線の移動により形成される面上への入射分子線の射影位置が異なる位置に少なくとも2つの分子線源を設けたことを特徴とする分子線エビタキシ装置。

3. 特許請求の範囲第1項記載の分子線エビタキシ

装置において、上記複数の分子線源からの分子線が同一平面内に存在し、かつ、上記入射角度可変手段が上記結晶成長用基板上の結晶成長面の法線方向が上記平面と同一面内において可変な入射角度可変手段であることを特徴とする分子線エビタキシ装置。

4. 特許請求の範囲第1項、第2項あるいは第3項に記載の分子線エビタキシ装置を用いることにより結晶成長用基板上に混晶を成長させる方法において、上記入射角度可変手段により分子線入射角度を変えて結晶成長させることにより上記混晶の構成元素の組成比を変化させることを特徴とする分子線エビタキシ方法。

5. 特許請求の範囲第4項に記載の分子線エビタキシ方法において、上記組成比の変化を連続的に行わせることを特徴とする分子線エビタキシ方法。

6. 特許請求の範囲第4項に記載の分子線エビタキシ方法において、上記組成比の変化を断続的に行わせることを特徴とする分子線エビタキシ

方法。

7. 特許請求の範囲第6項に記載の分子線エビタキシ方法において、上記組成比の変化によりヘテロ接合を形成させることを特徴とする分子線エビタキシ方法。
8. 結晶成長用基板と、該基板上に結晶成長させるための分子線を供給する複數個の分子線源と、該分子線源から該基板上に入射する分子線量を変化させるために各分子線源に対応して配設したシャッタと、該基板の結晶成長面の法線方向と該分子線から入射する分子線とのなす角度を任意の値とするための入射角度可変手段とを有することを特徴とする分子線エビタキシ装置。
9. 特許請求の範囲第8項に記載の分子線エビタキシ装置を用いて結晶成長用基板上に混晶を成長させる方法において、結晶成長中に上記シャッタを開閉することおよび上記入射角度可変装置の操作により入射角度を変化させることによって、上記混晶の構成元素の組成比を変化させることを特徴とする分子線エビタキシ方法。

優れた成果を収めてきている。一方、近年、素子の高性能化の観点から、傾斜的な混晶比の変化を有する結晶の成長技術に対する要請が高まっている。すなわち、傾斜的な混晶組成比分布を有する結晶層を用いることによって、従来のヘテロ接合にみられるノッチをなくし、例えば、ヘテロバイポーラトランジスタの利得の増大、ホトダイオードの応答速度の向上、オーミック抵抗の低減、あるいは、アバランシェホトダイオードの α/β 比の向上をはかることができる。また、電子素子等において、バンド構造に傾斜を持たせることができるため、ドリフトによるキャリアの高速輸送が可能であり、広い範囲の応用が期待できる。さらに、成長した膜の結晶性の観点からみて、格子整合に基づく制約を緩和することができ、混晶の適用範囲を広げることが可能である。

高精度な成膜の可能なMBE法による傾斜的な混晶組成比を有する膜の形成例としては、例えば、ジャーナル・オブ・バキューム・サイエンス・アンド・テクノロジー B 第5巻第3号(1987年)

10. 特許請求の範囲第2項に記載の分子線エビタキシ装置を用いて基板上にⅢ-V族化合物半導体混晶をエビタキシ成長させる方法において、基板法線の移動により形成される面上への入射線の射影位置が異なる分子線源が、Ga, Al, In, Si, BeおよびSnの中から選ばれた少なくとも2つの分子線源であることを特徴とする分子線エビタキシ方法。

3. 発明の詳細な説明

本発明は分子線エビタキシ装置および該装置を用いる分子線エビタキシ方法に係り、特に、膜厚方向に混晶組成の変化した半導体結晶の形成に好適な分子線エビタキシ装置および方法に関する。(従来の技術)

分子線エビタキシ結晶成長法(molecular beam epitaxy 以下MBE法と呼ぶ)は、膜厚、混晶比、添加不純物などの制御可能性、異種材料を成長させた場合の界面の急峻性に優れた結晶成長方法として知られており、これらの特徴を活かして、超格子構造などの高精度な結晶成長に適用されて、

5/6月 第802~第807頁(J. Vac. Sci. Technol. B Vol.5 No.3 May/Jun 1987 pp802~807)にその記載があり、3種類のⅢ族元素Ga, In, Alおよび1種類のV族元素Asを用いた $Ga_xAl_{1-x}In_yAs$ なる組成の4元混晶において x および y を変化させた傾斜組成膜を形成した例が挙げられ、その方法として、マイクロコンピュータを用いてGa, Al分子線源温度を変化させる手段を用いた例が示されている。

〔発明が解決しようとする課題〕

しかしながら、上記従来技術においては、膜組成比の変化を分子線源温度を変えることによって行っているため、応答速度が遅く、組成変化の急峻性に限界がある。また、分子線源温度を変化させる際に、その変化途中の過渡的な状態を用いているため、組成制御の安定性や再現性など制御自体に問題がある。

本発明の目的は、上記従来技術の有していた課題を解消し、再現性に優れ、かつ、急峻な組成変化を有する膜の形成が可能で、傾斜的な混晶組成

分布を有する結晶膜の形成に好適な分子線エビタキシ装置および該装置を用いた分子線エビタキシ方法を提供することにある。

(課題を解決するための手段)

上記目的は、結晶成長用基板と入射分子線との相対角度を任意に変化させることのできる機構を有する分子線エビタキシ装置を用い、結晶成長の際に、結晶成長用基板と分子線との相対角度を任意の値にとり、該基板に入射する分子線量を変化させることによって達成することができる。

(作用)

第1図(a)は本発明による分子線エビタキシ装置の概略構成を示す図で、結晶成長用基板1および分子線源2からなり、基板1が回転軸6を中心として該基板の法線方向を移動し得る回転機能を有していることを示す。同図(b)は同図(a)の基板回転角 θ と基板面における分子線強度との関係を示す図で、分子線強度はほぼ $\cos \theta$ の形で変化する。また、第2図は、本発明による傾斜的な組成変化を有するMBE成長の原理を示す図で、

分子線源A2および分子線源B3を、回転機構を備えた基板に対して、 90° の関係位置に配置してあることを示す。この場合の基板回転角 θ に対する各分子線の強度依存性は同図(b)に示す通りで、分子線源Aについては $\cos \theta$ 、分子線源Bについては $\sin \theta$ の形となる。ここで、基板1が各分子線源2、3の正面を向いた時の分子線強度が等しくなるように各分子線源の温度を調整した場合を考えると、得られる膜の混晶組成比(A/(A+B))および膜厚の基板回転角(θ)依存性は、それぞれ、 $\cos \theta / (\cos \theta + \sin \theta)$ および $\sin \theta / (\cos \theta + \sin \theta)$ となる。すなわち、基板回転角度 θ を適切に選ぶことにより、成分A、Bからなる任意の組成比の混晶を得ることができ、さらに、結晶成長とともに基板を連続的に回転させることによって、傾斜的な組成変化を有する膜を得ることができる。また、分子線源の前面に設けたシャッタ(図示せず)を用いることによって、任意の組成で、かつ、段階的に組成を変化させた混晶を含むヘテロ構造を作製することも容易にできる。

なお、上記の説明においては、分子線源2基、分子線源間角度 90° 、2種の分子線強度を同一とした場合について説明したが、これらのパラメータを適切に選ぶことによって、より実用的な条件を選ぶことができる。例えば、分子線源間角度を α 、分子線AおよびBの強度を A_0 および B_0 とすれば、混晶組成比の θ 依存性は

$$\text{混晶組成比} = A_0 \cos \theta / (A_0 \cos \theta + B_0 \cos(\theta - \alpha))$$

となり、 θ 依存性を緩やかにすることも、急峻にすることも可能である。

また、膜厚にも角度依存性があるが、その値を考慮して工程を進めれば、結晶成長にはなんら支障なく実施することができる。

なお、第2図に示した2つの分子線源の設置位置は、基板の法線の移動により形成される面上への入射分子線の射影位置が異なる位置に設ける必要がある。

(実施例)

以下、本発明について実施例により詳細に説明する。

実施例 1

第2図に示した基板および分子線源の配置を有する装置を用いてGaAlAs系混晶の形成を行った。すなわち、分子線源1としてGa固体源を、分子線源2としてAl固体源を、また、As固体源を上記2分子線源の間(図示せず)に、それぞれ、配置し、分子線発生は、Ga、Al、As源を、それぞれ、 950°C 、 1300°C 、 320°C に加熱することによって行った。この条件で、基板回転角度(θ)が 0° および 90° の時のGaAsおよびAlAsの成長速度は約 $0.7\mu\text{m/hr}$ で、ほぼ同一の値を示した。

上記の構成において、 $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ 中のAlAs組成比 x を0から1.0まで変化させた膜厚 $0.5\mu\text{m}$ および20Åの2種類の試料を作成し、二次イオン質量分析(SIMS)および透過型電子顕微鏡(TEM、CAT法)により膜の組成変化を調べた結果、両試料とも、ほぼ設計通りに組成変化をしていることがわかった。

なお、上記構成のように、分子線源の位置関係を予め定めておくことによって、分子線入射角度

と混晶組成との間に明確な関連づけをすることができ、

実施例 2

実施例 1 と同様構成の装置により、シャッタ（図示せず）を用いて、 $Ga_{1-x}Al_xAs$ の $AlAs$ 組成比 x を 0.15、0.40、0.65 の 3 段階とした混晶ヘテロ構造試料を作製した。X 線 2 結晶法により求めた x の値を第 2 図 (b) 中に黒点で示した。また、同試料について、界面急峻性を断面 TEM で観察したところ、両界面とも、1 原子層以内の急峻性を有するという結果が得られた。

実施例 3

第 3 図に、実施例 1 および 2 において用いた第 2 図の装置と異なり、基板 1 が回転中心 6 を中心として円周運動することを可能にした装置構成を示す。

この装置を用いて、実施例 1 および 2 の場合と同様の試料を作製して調べた結果、組成可変範囲および傾斜的組成変化の急峻性については第 2 図構成の装置による場合に比べて劣るが、組成制御

整合させるように分子線源 4 および 5 の温度を設定した。

上記の構成において、基板回転角 θ を変えることによって $InGaAs$ と $InAlAs$ との比を任意に変化させることができた。

なお、上記の実施例においては、 θ 依存性をもつ分子線の線源として Ga 、 Al 、 In 等 III 族元素を用いた場合の例について述べたが、同様の手法を、 Si 、 Be 、 Sn 等のドーパントのキャリア濃度変化を得る方法としても有効に用いることができ、また、 As 、 P 等複数の V 族元素を含む III-V 族化合物半導体作製への適用も可能である。

(発明の効果)

以上述べてきたように、組成比変化を有する混晶の MBE 成長において、本発明の装置および方法を用いることによって、従来技術の有していた課題を解消して、傾斜的なあるいは段階的な任意の組成変化を有する混晶層を容易に形成することができ、また、組成変化の制御性、再現性に優れた膜形成を可能とすることができた。特に、急峻

性は向上し、 $GaAlAs$ 系混晶において、 ± 0.01 の範囲の組成比制御結果を得ることができた。

実施例 4

実施例 1、2 および 3 の場合とは異なる構成の装置の例を第 4 図に示す。すなわち、上記各実施例の場合には各分子線源をそれぞれ独立に所定角度をもって設けた装置を用いたが、第 4 図は、複数の分子線源を複数のグループに分け、グループを単位として各グループを任意の角度だけ傾けて配置した装置の例を示したものである。図中 (a) は装置の上面図、(b) は正面図を示したものである。

具体例をもって説明すれば、 InP 基板 1 上に $InGaAlAs$ 混晶を成長させるために、分子線源 2、3、4、5 に、それぞれ、 In 、 Ga 、 In 、 Al を配し、2 と 4 との中間に As 分子線源（図示せず）を配置した。また、基板回転角 $\theta = 0^\circ$ において $InGaAs$ を InP 基板 1 上に格子整合させるように分子線源 2 および 3 の温度を設定し、また、 $\theta = 90^\circ$ において $InAlAs$ を基板 1 上に格子

な組成変化を示す傾斜性組成分布の結晶構造の形成が可能となった。

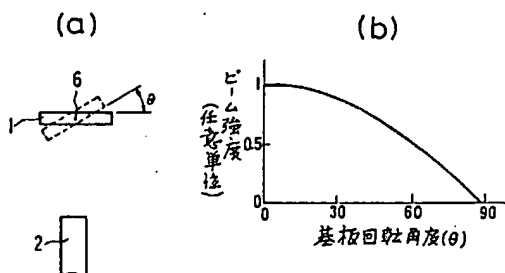
4. 図面の簡単な説明

第 1 図は本発明の原理を説明するための装置概略構成図、第 2 図 (a) は実施例 1 および 2 を説明するための装置概略構成図、同図 (b) は同図 (a) の基板回転角度 θ と混晶組成比、分子線（ビーム）強度、膜厚との関係を示す図、第 3 図は実施例 3 を説明するための装置概略構成図、第 4 図は実施例 4 を説明するための装置概略構成図で、(a) は上面図、(b) は正面図である。

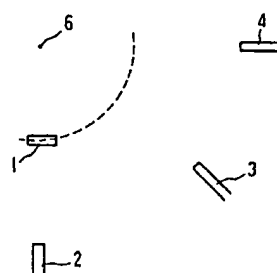
- 1 … 結晶成長用基板、
- 2、3、4、5 … 分子線源
- 6 … 回転中心

代理人 井理士 中村 純之助

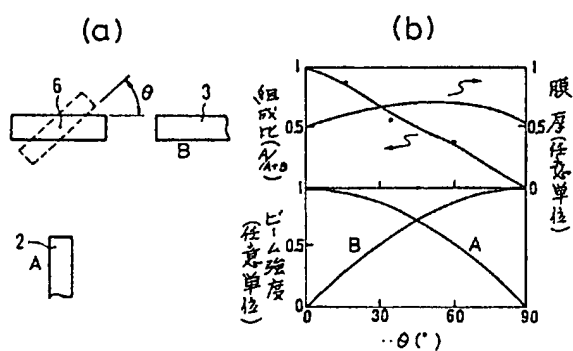
第 1 図



第 3 図



第 2 図



第 4 図

